

УДК 621.316

І.Г. Абраменко, к.т.н., доц.,
М.М. Штанько

*Харківська національна академія мі-
 ського господарства, м. Харків*

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ В СИСТЕМІ MATLAB

Моделювання елементів енергетичних систем в системі MATLAB можливо двома принципово різними способами.

У першому випадку моделювання проводять шляхом введення відповідних команд в робочу область самого пакету MATLAB. При цьому використовується тулбокс, який називається Control System Toolbox. Цей тулбокс є бібліотекою алгоритмів, що містяться у функціональних файлах і реалізують найбільш загальні методи розрахунку і аналізу. Команди, що вводяться в робочу зону MATLAB виконуються послідовно - (імітація потоку даних).

При використанні команд Control System Toolbox відповідний алгоритм обчислень краще всього представляти у вигляді тексту програми так званого m-файлу. MATLAB допускає використання двох типів m-файлів: файлів-сценаріїв (Script-файлів) і файлів-функцій. Доцільнішим з погляду авторів є застосування файлів-сценаріїв, які є послідовними записами серії команд без вхідних і вихідних параметрів.

Текст програми набирається за допомогою вбудованого в MATLAB редактора і може бути викликаний на виконання як з командного рядка, так і з іншого m-файлу шляхом введення індивідуального імені файлу.

У другому випадку моделювання проводять шляхом використання моделей типових елементів пакету Simulink. При Simulink-моделюванні числові алгоритми моделей складових елементів САУ в кожен момент часу виконуватимуться паралельно (так звана імітація часового потоку).

Simulink дозволяє представити досліджувану систему у вигляді сполучених між собою блоків (структурної схеми), а потім досліджувати її поведінку в статичі і динаміці. Інженеру або студенту потрібно освоїти правила використання готових функціональних блоків, з яких, як з конструктора, складається модель проектного пристрою, а також, і це слід особливо підкреслити, "випробувальний стенд", тобто всю необхідна інфраструктура, що включає джерела сигналів, вимірювальні прилади і засоби спостереження за процесами і характеристиками процесів.

Введення блоків відбувається шляхом вибору з деякого набору типових блоків, що входять в спеціальну бібліотеку [1]. У цю бібліотеку входять блоки, що дозволяють моделювати різноманітні лінійні, нелінійні, безперервні і дискретні енергетичні елементи з багатьма змінними.

Розглянемо процес моделювання двигуна постійного струму з незалежним збудженням [2]. Відповідно функціональній схемі рівняння двигуна складемо по каналу: $u_d(t)$ - вхід; $\omega(t)$ - вихід. При цьому розглядатимемо як загальний випадок зміни напруги $u_d(t)$, так і по ланцюгу збудження, здійснюваного за допомогою зміни напруги збудження $u_{зд}(t)$, при дії на двигун збурення у вигляді моменту опору $M_o(t)$ робочого механізму РМ (див. рис. 1).

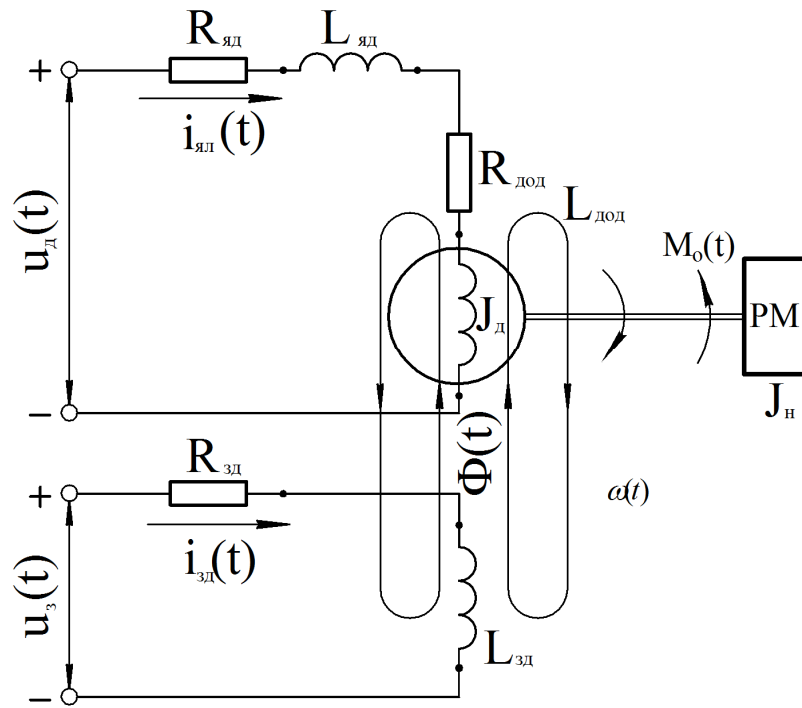


Рис. 1 - Принципова схема ДПС

Тут прийняті наступні позначення: $R_{ял}$, $L_{ял}$ - відповідно, активний опір і індуктивність якірної обмотки; $R_{дод}$, $L_{дод}$ - активний опір і індуктивність додаткових елементів якірного ланцюга (щіток, додаткових полюсів і т.д.); $i_{ял}(t)$ - струм якірного ланцюга; $i_{зд}(t)$, $R_{зд}$, $L_{зд}$ - відповідно, струм, активний опір і індуктивність обмотки збудження; $J_д$ і $J_н$ - моменти інерції якоря двигуна і робочого механізму (навантаження); $\omega(t)$ - кутова швидкість обертання валу якоря; $M_д(t)$ - момент, що розвивається двигуном; $\Phi(t)$ - магнітний потік.

При визначенні рівнянь ДПС вважатимемо, що:

- параметри $R_{ял}$, $L_{ял}$, $R_{зд}$, $L_{зд}$, $R_{дод}$ і $L_{дод}$ є постійними;
- зв'язок робочого механізму з валом двигуна здійснюється без зазора (люфта) і є абсолютно жорстким;
- статична регульовальна характеристика $\omega = f(u_д)$ лінійна (лінійність означає повну компенсацію реакції якоря і рівність нулю напруги зрушення);
- залежність магнітного потоку від струму збудження $\Phi = f(i_{зд})$ представляється однозначною кривою намагнічення (гістерезис не враховується);
- приведений до валу двигуна момент опору не залежить від швидкості;
- вплив вихрових струмів в станині і полюсах двигуна, а також в'язкого (швидкісного) тертя рівний нулю.

Як вхідні сигнали приймемо $u_д(t)$, $u_з(t)$ і $M_o(t)$, а як вихідні - $i_{ял}(t)$ і $\omega(t)$.

Фізику процесів в ДПС на основі даних літературних джерел можна описати наступною системою рівнянь:

- рівнянням електричної рівноваги для ланцюга якірної обмотки (закон Кірхгофа):

$$u_d(t) = e_d(t) + R_\Sigma i_{ял}(t) + i_\Sigma \frac{di_{ял}(t)}{dt}; \quad (1)$$

- рівнянням руху приводу:

$$J_\Sigma \frac{d\omega(t)}{dt} = M_d(t) - M_o(t); \quad (2)$$

- рівнянням електричної рівноваги для ланцюга збудження:

$$u_{зд}(t) = R_{зд} i_{зд}(t) + L_{зд} \frac{di_{зд}(t)}{dt}. \quad (3)$$

Тут $R_\Sigma = R_{яд} + R_{дод}$, $L_\Sigma = L_{яд} + L_{дод}$, $J_\Sigma = J_d + J_n$.

ПротиЕДС двигуна $e_d(t)$ визначається співвідношенням:

$$e_d(t) = c \cdot \omega(t) \cdot \Phi_d(t), \quad (4)$$

а його обертальний момент співвідношенням:

$$M_d(t) = c \cdot i_{ял}(t) \cdot \Phi_d(t), \quad (5)$$

де $c = pN/(2\pi a)$ - машинна постійна; p - число пар полюсів; N - число ефективних дротів якоря; a - число паралельних гілок обмотки якоря.

Тоді систему рівнянь (1) - (3) можна вирішити чисельним методом шляхом набору наступної структурної схеми в Simulink.

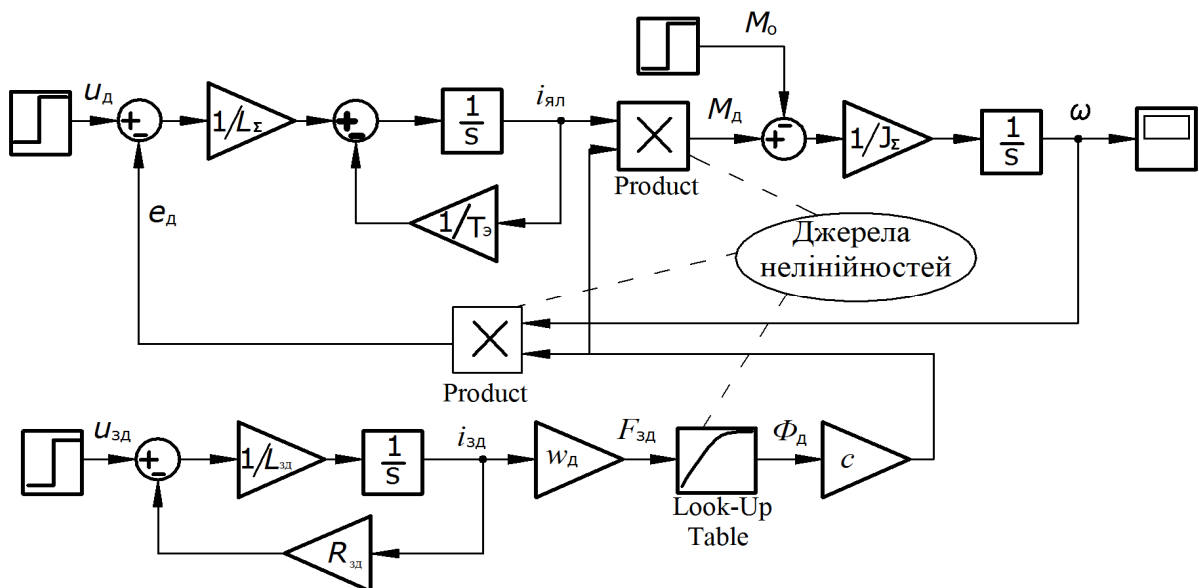


Рис. 2 - Блок-схема моделі Simulink ДПС з урахуванням нелінійностей

Тут: w_3 - число витків на один полюс обмотки збудження; $F_{зд}(t) = w_3 \cdot i_{зд}(t)$ - магніторухливі сила: $\Phi_d(t) = f(F_{зд})$ - крива намагнічення.

Таким чином ДПС з незалежним збудженням є складна система, що має три входи - задаючі $u_d(t)$ і $u_{зд}(t)$ і збурюючий $M_o(t)$. Система має негативний зворотний зв'язок за швидкістю, роль якої виконує проти ЕДС двигуна $e_d(t) = c \cdot \omega(t) \cdot \Phi_d(t)$.

По приведеній схемі можна проводити розрахунки при певних (загалом будь-яких) параметрах вхідних сигналів і одержувати ті або інші приватні результати. Тому така модель може бути з успіхом використана на стадії остаточної перевірки результатів виконаного аналізу або синтезу.

На рис. 3 приведені дві криві перехідних процесів пуску двигуна з параметрами:
 $n=1400$; $R_{ia}=0.143$; $L_{ia}=0.005$; $I_{ia}=81.5$; $U_{ia}=220$; $J_d=0.4$; $J_n=0.2$; $p=2$; $N=556$; $a=1$
 $w_v=1500$; $R_v=58.48$; $T_v=0.2$; $f_b=0.0082$

$\tau_{au}=1$

$J_s=J_d+J_n$

$\omega_m=\pi \cdot n/30$

$c=p \cdot N/(2 \cdot \pi \cdot a)$

$c_1=c \cdot f_b$

$K_{du}=1/c_1$

$K_{dm}=R_{ia}/(c_1)^2$

$T_e=L_{ia}/R_{ia}$

$T_m=J_s \cdot R_{ia}/(c_1)^2$

$M_{sn}=(U_{ia} \cdot K_{du}-\omega_m)/K_{dm}$

$L_v=T_v \cdot R_v$

Крива 1 відповідає нелінійній моделі, а крива 2 – спрощеній лінійній моделі. Таким чином різниця являється суттєвою, що підтверджує ефективність застосування засобів MATLAB для моделювання елементів енергетичних систем.

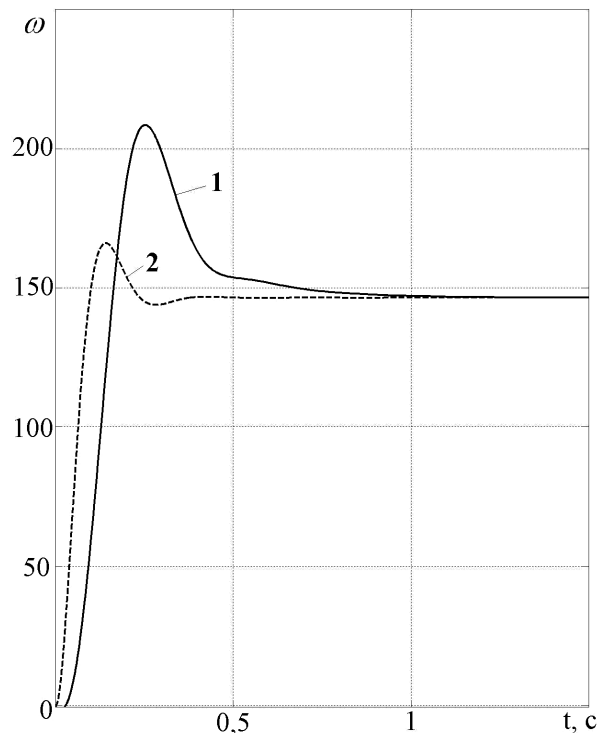


Рис. 3 - Криві перехідних процесів

Література

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Sim Power Systems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: 2008. – 288 с.
2. Компьютерные технологии в автоматизированных системах управления электроснабжения: Уч. пособие / И.Г. Абраменко, А.И. Кузнецов. Под общ. редакцией И.Г. Абраменко. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 146 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В СИСТЕМЕ MATLAB**

И.Г. Абраменко, Н.Н. Штанько

Предлагается новая информационная технология моделирования элементов энергетических систем.

MODELLING OF ELEMENTS OF POWER SYSTEMS IN SYSTEM MATLAB

I.G. Abramenko, N.N. Shtanko

The new information technology of modelling of elements of power systems is offered.